

COGNOME

NOME

MATRICOLA

FIRMA

Esercizio 1

In una pompa di calore a gas il lavoro è fornito da un compressore adiabatico, caratterizzato da un rapporto di compressione $\beta = 3$ e da un rendimento isoentropico $\eta_{iso} = 0.83$, che elabora una portata volumetrica in ingresso $V_i^\circ = 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ di aria secca (approssimabile a gas ideale) entrante nelle condizioni $P_i = 1 \text{ bar}$, $t_i = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, $w_i = 2 \text{ m/s}$ e uscente a $w_u = 40 \text{ m/s}$. La sorgente fredda del ciclo è costituita da una portata $M_C^\circ = 0.15 \text{ kg/s}$ di acqua che passa dalla condizione di vapore saturo a quella di liquido saturo alla temperatura $T_C = 15 \text{ }^\circ\text{C}$. La sorgente calda del ciclo è alla temperatura costante $T_H = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Determinare il COP e l'irreversibilità del processo ciclico.

COP	$\Delta Stot$
-----	---------------

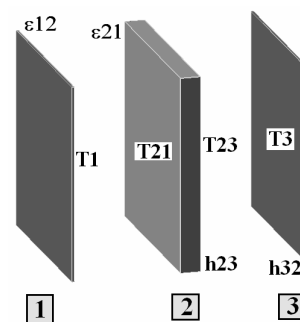
Esercizio 2

Un cilindro orizzontale del volume di 4 l, rigido e adiabatico, è diviso a metà da un setto senza massa rigido e adiabatico. Nel semivolume di destra è racchiusa una massa $M_{O_2} = 0.025 \text{ kg}$ di ossigeno nelle condizioni di equilibrio iniziali $P_{1i} = 10 \text{ bar}$, $t_{1i} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, mentre nel semivolume di sinistra è contenuta una massa $M_{He} = 0.0334 \text{ kg}$ di elio nelle condizioni iniziali $P_{2i} = 10 \text{ bar}$, $t_{2i} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$. All'istante iniziale il setto viene reso diabatico e da quel momento nel semivolume di sinistra per la durata di 0.8 minuti viene fornita una potenza costante $L^{*} = 100 \text{ W}$ tramite un agitatore. Determinare il calore scambiato attraverso il setto diabatico e l'irreversibilità del processo dopo il raggiungimento dello stato di equilibrio finale.

Q	$\Delta Stot$
---	---------------

Esercizio 3

Si consideri il sistema rappresentato in figura. La parete piana monostrato 2, di spessore $s_2 = 50 \text{ mm}$, si affaccia da entrambi i lati su intercapedini chiuse alle altre estremità dalle superfici 1 e 3. Nell'intercapedine 1-2 è fatto il vuoto, ma si ha scambio termico per irraggiamento: le emissività delle facce coinvolte sono rispettivamente $\epsilon_{12} = 0.5$ e $\epsilon_{21} = 0.25$. Nell'intercapedine 2-3 è invece contenuta aria e l'irraggiamento è praticamente trascurabile, il suo minimo contributo è già stato incluso maggiorando i coefficienti convettivi che sono: $h_{23} = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$, $h_{32} = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ipotizzando di essere in condizioni stazionarie e sapendo che $T_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{21} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{23} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, determinare la temperatura T_3 e la conduttività λ_2 della lastra 2.



T_3	λ_2
-------	-------------

AVVERTENZE

- durata della prova: 1h 30';
- durante la prova non è consentito consultare testi, eserciziari, dispense, tabelle o qualsiasi altro tipo di materiale, né utilizzare telefoni cellulari, PC o altri strumenti di comunicazione a distanza;
- scrivere tutto ciò che si desidera venga corretto esclusivamente a penna, con inchiostro nero o blu;
- svolgere gli esercizi ordinatamente e commentando adeguatamente i passaggi effettuati;
- dovranno essere consegnati, entrambi compilati con nome cognome matricola e firma, questo testo ed un solo foglio di protocollo, su cui dovrà essere riportata la "bella copia" della soluzione degli esercizi proposti. Non verranno ritirati fogli "di brutta" né un numero di fogli superiore a uno. I risultati finali degli esercizi devono essere riportati, completi di unità di misura, nelle celle predisposte su questo foglio.
- chi desiderasse ritirarsi dalla prova semplicemente non consegnare il proprio compito. Può in tale caso tenere il testo.

Tablelle dell'acqua a saturazione

T	P	ρ_l	ρ_v	hl	hv	s1	sv
[°C]	[hPa]	[kg/m3]	[kg/m3]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kgK)]	[kJ/(kgK)]
0	0.611	999.8	0.00485	0.00	2500.9	0.000	9.156
5	0.873	999.9	0.00680	21.02	2510.1	0.076	9.025
10	1.228	999.7	0.00941	42.02	2519.2	0.151	8.900
15	1.706	999.1	0.0128	62.98	2528.4	0.224	8.780
20	2.339	998.2	0.0173	83.92	2537.5	0.297	8.666
25	3.170	997.0	0.0231	104.84	2546.5	0.367	8.557

Soluzioni

Esercizio 1

Il compressore può essere modellizzato come un sistema fluente in cui gli unici termini di interesse dal punto di vista energetico sono quelli entalpici e cinetici:

$$h_i + w_i^2/2 + l_{id} = h_u + w_u^2/2 \Rightarrow l_{id} = h_u - h_i + (w_u^2 - w_i^2)/2$$

Dato che il gas processato è approssimabile a ideale, triatomico ma con molecola lineare:

$$l_{id} = c_p (T_u - T_i) + (w_u^2 - w_i^2)/2 = 7/2 (R / MM) (T_u - T_i) + (w_u^2 - w_i^2)/2$$

Introducendo la portata ed il rendimento isoentropico per passare dal lavoro specifico ideale alla potenza reale:

$$L^\circ = \dot{M} l_{id} / \eta_{is} = \dot{V} \rho l_{id} / \eta_{is} = \dot{V} P_i / (R / MM T_i) l_{id} / \eta_{is}$$

Per quanto riguarda la potenza ricevuta dalla sorgente fredda, essa può essere calcolata come:

$Q^\circ C_s = \dot{M}^\circ C (h_{ls} - h_{vs})$ dal punto di vista della sorgente (vapore condensante), e quindi come

$Q_C = -\dot{M}^\circ C (h_{ls} - h_{vs})$ dal punto di vista del ciclo.

A questo punto si hanno immediatamente:

$$Q_H = -L - Q_C$$

il COP_{HP} :

$$COP_{HP} = -Q^\circ H / L^\circ$$

e l'irreversibilità del ciclo:

$$\Delta S^\circ = -Q^\circ H / T_H - Q^\circ C / T_C$$

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base):

Esercizio 1					
COMPRESSORE					
MM AS	29	R* AS	286.7	cp AS	1003.4
γ	1.40				
Ti	308.15				
Pi	100000	β	3	Pu	300000
wi	2.00			wu	40.00
pi	1.132			Tu	421.78
V°i	0.8	M°	0.91		
Δh_{id}	114015	Δh_r	137367		
Δe_k	798				
L°	125116				
SORGENTE FREDDA			SORGENTE CALDA		
M°C	0.15	TH	323.15		
h _{fs}	62980				
h _{vs}	2528400				
Q°C	369813				
TC	288.15				
QH	-494929				
COPHP	3.96				
$\Delta S^{\circ tot}$	248.17				

Esercizio 2

Applicando tra inizio e fine della trasformazione il Primo Principio per sistemi chiusi sia ai sottosistemi sia al sistema complessivo si ha:

- 1) $\Delta U_1 + \Delta U_2 = L^{\circ} \Delta \tau$
- 2) $\Delta U_1 = Q_{21}$
- 3) $\Delta U_2 = L^{\circ} \Delta \tau - Q_{21}$

avendo indicato con Q_{21} il calore fluente attraverso il setto diadiabatico dal sottosistema 2 al sottosistema 1.

Essendo i due gas ideali è anche:

- 4) $\Delta U_1 = M_1 c_{v1} (T_f - T_{i1})$
- 5) $\Delta U_2 = M_2 c_{v2} (T_f - T_{i2})$

indicando con T_f la temperatura finale di equilibrio del sistema.

Le equazioni 4) e 5) sostituite nella 1) permettono di ricavare T_f :

$$T_f = (L^{\circ} + M_1 c_{v1} T_{i1} + M_2 c_{v2} T_{i2}) / (M_1 c_{v1} + M_2 c_{v2})$$

Dalla 2) è poi immediato il calcolo di Q_{21} .

Dato che i sottosistemi sono entrambi rigidi l'unico contributo all'irreversibilità è quello dalla variazione di temperatura, pertanto l'irreversibilità è calcolabile come:

$$6) \Delta S_{tot} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = M_1 c_{v1} \ln(T_f/T_{i1}) + M_2 c_{v2} \ln(T_f/T_{i2})$$

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base):

Esercizio 2			
MM O2	32	MM He	4
R* O2	259.8	R* CO2	2078.5
Ti1	308.15	T2i	288.15
M1	0.02498	M2	0.03340
cv1	649.5	cv2	3117.8
L°*	100	L*	4800
Tf	330.7		
Q21	366.3		
ΔStot processo	15.50		

Esercizio 3

Dato che il sistema è piano, in condizioni stazionarie e composto solo da elementi passivi, il flusso che lo attraversa è lo stesso attraverso tutte le superfici.

Nell'intercapedine di sinistra si ha solo flusso radiativo, immediatamente calcolabile:

$$Q^{'''} = -s (T_{21}^4 - T_1^4) / (1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_{21} - 1)$$

e tale flusso deve essere uguale sia al flusso conduttivo attraverso la parete 2:

$$Q^{'''} = - (T_{23} - T_{21}) / (s_2/\lambda_2)$$

sia al flusso convettivo nell'intercapedine di destra:

$$Q^{'''} = - (T_3 - T_{23}) / (1/h_{23} + 1/h_3)$$

Le ultime due equazioni permettono immediatamente di determinare il valore delle due variabili richieste:

$$\lambda_2 = - Q^{'''} s_2 / (T_{23} - T_{21})$$

$$T_3 = T_{23} - Q^{'''} (1/h_{23} + 1/h_3)$$

Risultati numerici (tutti i valori sono in unità di misura SI base):

Esercizio 3	
T1	373.15
T21	323.15
T23	313.15
ε1	0.50
ε21	0.25
h23	25.00
h32	15.00
s2	0.050
Q''' rad	96.20
λ2	0.48
T3	302.89